



TITLE:

Performance Analysis and Sampled-Data  
Controller Synthesis for Bounded Persistent  
Disturbances( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Kim, Jung Hoon

---

CITATION:

Kim, Jung Hoon. Performance Analysis and Sampled-Data Controller Synthesis for Bounded Persistent Disturbances. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18993>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	金 正勳
論文題目	Performance Analysis and Sampled-Data Controller Synthesis for Bounded Persistent Disturbances (有界持続的外乱に対する性能解析およびサンプル値制御器設計)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、制御系における有界持続的外乱の抑制に関して、線形な連続時間時不変系およびサンプル値系における性能解析，ならびに後者における制御器設計手法について論じたものであって、5章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、外乱抑制に関する制御理論の歴史的な背景を、<math>H_\infty</math>制御理論、<math>H_2</math>制御理論、<math>L_1</math>制御理論などの代表的手法を中心に概観している。また、サンプル値系に関する制御理論の歴史的背景と既存の研究成果、とくに有界持続的外乱抑制のためのサンプル値制御理論ならびにその <math>L_1</math> 制御理論との関係について述べ、本研究の位置づけを明らかにしている。さらに、本論文の議論において必要となる数学的事項の準備を行っている。</p> <p>第2章は、有界持続的外乱に対する性能指標を <math>L_\infty</math>誘導ノルムとした際の解析ならびにその最適化設計を扱う本論文において、主結果の1つであると同時に全体を通して重要となる考え方の基礎をなす議論として、多入力多出力連続時間時不変系の <math>L_\infty</math>誘導ノルムの計算手法について述べている。具体的には、入力近似手法および核関数近似手法という2つの互いに独立な基本的な近似アプローチに基づく計算手法をそれぞれ与えている。いずれのアプローチも、信号の高速リフティング表現と呼ばれる考え方に基づく扱いを通して区分的な定数関数近似および区分的な一次関数近似というより定量的かつ具体的な意味での2つの近似手法がそれぞれ利用可能となるものである。ここで高速リフティングは整数 <math>M</math> をパラメータとして持つ操作であり、与えられた有限時間区間を <math>M</math> 等分して扱うことを通して導入される適切な近似のもと、大きな <math>M</math> を利用することにより近似精度を高める目的で利用している。そのような取り扱いを通して、<math>L_\infty</math>誘導ノルムの上界値と下界値を計算する4つの方法を与えている。それらの上界値と下界値とのギャップは、区分的な定数関数近似に基づく2つの方法では <math>1/M</math> のオーダーで、また区分的な一次関数近似に基づく2つの方法では <math>1/M^2</math> のオーダーで0に収束していき、したがって漸近的に厳密な計算が可能であることを示している。さらに、数値例を通してその妥当性を検証している。</p> <p>第3章は、サンプル値系の <math>L_\infty</math>誘導ノルムの解析手法について述べたものである。具体的には、第2章で述べた入力近似手法と核関数近似手法のサンプル値系への展開について論じている。サンプル値系は連続時間の観点から見れば、内在するサンプリング動作の周期性に起因して周期時変系としての性質を有するために、その <math>L_\infty</math>誘導ノルム解析は連続時間時不変系の場合より複雑になる。そこで、サンプル値系に対するリフティング表現と呼ばれる作用素表現を導入することで取り扱いを部分的に簡単化した上で、前章の議論では現れなかった出力側の作用素に対しても適切な近似を施し、取り扱いのさらなる簡単化を図っている。このような議論の拡張を通して、サンプル値系の <math>L_\infty</math>誘導ノルム解析に関して前章で与えたものと同様の4つの主結果を与えている。具体的には、このノルムの上界値と下界値を与える他、それらの間のギャップも、区分的な定数関数近似では <math>1/M</math> のオーダーで、区分的な一次関数近似では <math>1/M^2</math> のオーダーで0に収束することを示している。加えて、これらの4つの主結果の妥当性を数値例を通して検証している。</p> <p>第4章は、閉ループ制御系の <math>L_\infty</math>誘導ノルムを最小化するサンプル値制御器の設計について論じている。前章で扱われた議論はサンプル値制御器が与えられたときの <math>L_\infty</math>誘導ノルム</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	金 正勲
<p>を解析するものであり，この誘導ノルムを最小化するサンプル値制御器を設計する目的には直接利用できない．そこで本章では，前章で論じた入力近似手法の考え方に基づく場合について，サンプル値制御器設計において利用できる形の議論へと拡張する方法について考察し，それが可能となる数学的根拠を与えることに相当する2つの重要な不等式を予随伴作用素の議論を用いて導いている．この不等式に基づき適切な離散化手法を与えることで，<math>L_\infty</math>誘導ノルムを最小化するサンプル値制御器設計問題が，区分的な定数関数近似においては <math>1/M</math> のオーダー，区分的な一次関数近似においては <math>1/M^2</math> のオーダーの誤差を許容すれば，近似的に等価な離散時間系の <math>L_\infty</math>誘導ノルムを最小化する離散時間制御器を設計する問題に帰着させられることを示している．後者の問題に対しては既存の解法が利用できることから，本章で与えた設計法の有効性を数値例により検証している．</p> <p>第5章は結論であり，各章の成果を要約するとともに，今後の研究の展望について述べている．</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、有界持続的外乱の抑制制御に関して、線形な連続時間時不変系およびサンプル値系の性能解析と後者における制御器設計手法について研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

有界持続的外乱の抑制性能を  $L_\infty$  誘導ノルムで測った解析とそれを最小化するサンプル値制御器設計手法を論じるにあたって、はじめに連続時間時不変系を対象とした解析を行っている。入力近似手法および核関数近似手法という2つの互いに独立な基本的な近似アプローチのもとで、それぞれに対して区分的な定数関数近似および区分的な一次関数近似というより定量的な2つ近似手法を適用するための方法を構築している。 $L_\infty$  誘導ノルムの上界値と下界値を計算する4つの方法をさらに与え、それらが漸近的に一致する上での収束オーダを与えるとともに、これらの計算手法の有効性を数値例により検証している。

続いて、サンプル値系の  $L_\infty$  誘導ノルムの解析に議論を拡張する方法について考察し、連続時間の視点からはサンプル値系が周期時変系となることに起因して生じる難点を克服している。具体的には、上記の議論においては現れなかった出力側の作用素に対しても適切な近似を施すことで、サンプル値系の  $L_\infty$  誘導ノルム解析においても同様の上界値および下界値を導いている。さらにそれらが互いに漸近的に一致する上での収束オーダに関しても同様の性質を明らかにし、数値例により計算手法の有効性を検証している。

一方、サンプル値系の  $L_\infty$  誘導ノルム解析に関する上記の成果は、閉ループ制御系の  $L_\infty$  誘導ノルムを最小化するサンプル値制御器を設計する目的には直接利用できない。この点を克服してサンプル値制御器設計問題を論じることができるための数学的根拠を与える2つの重要な不等式を、入力近似手法の考え方のもとで予随伴作用素の議論を用いて導き、この不等式に基づきサンプル値系に対する適切な離散化手法をさらに構築している。これにより、サンプル値制御器設計の問題が、既存解法が適用可能な離散時間系の  $L_\infty$  誘導ノルムを最小化する離散時間制御器を設計する問題に近似的に帰着させられることを示し、その際の近似誤差のオーダに関して解析の場合と同様の性質を明らかにしている。また、得られた収束オーダと数値例を通じた比較により、従来研究の手法よりもはるかに有効な設計手法が得られていることを明らかにしている。

以上の通り、本論文は、有界持続的外乱に対する性能解析について漸近的に厳密な方法を与え、外乱抑制性能を最適化するサンプル値制御器設計について従来手法を凌ぐ方法を構築したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年2月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日